



Ingeniería

ISSN: 0121-750X

ISSN: 2344-8393

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Moros Daza, Adriana; Mendoza Crespo, Henry; Amaya Mier, René; Ortiz Velasquez, Mauricio
Diseño de máxima utilidad para cadenas de suministro:
un caso de producción y distribución de bioplaguicidas
Ingeniería, vol. 26, núm. 2, 2021, Mayo-Agosto, pp. 123-142
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.16756>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=498870299002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UNAM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

A Maximal Profit Supply Chain Design: A Biopesticide Production-Distribution Case Study

Diseño de máxima utilidad para cadenas de suministro: un caso de producción y distribución de bioplaguicidas

Adriana Moros Daza*¹, **Henry Mendoza Crespo**²,
René Amaya Mier¹, **Mauricio Ortiz Velasquez**⁴

¹Facultad de Ingeniería, Universidad del Norte, (Barranquilla-Colombia), ²Escuela Internacional de Administración y Marketing, Universidad Sergio Arboleda (Barranquilla-Colombia), ⁴Escuela de Negocio, Universidad del Norte (Barranquilla-Colombia). Correspondence email: amoros@uninorte.edu.co, henry.mendoza@correo.usa.edu.co, ramaya@uninorte.edu.co, mortiz@uninorte.edu.co

Recibido: 10/08/2020. Modificado: 08/04/2021. Aceptado: 14/04/2021.

Abstract

Context: This article shows the design of a supply chain for a company that will be located in the department of Sucre, Colombia. This company will produce two biopesticides that will be used to fight the *Burkholderia glumae* bacterium, which causes white panicle blight in rice crops. The first is derived from vegetal extracts, and the second is based on endophytic bacteria, both of proven use in attacking the crop bacterial disease.

Method: A modeling of the price and demand parameters is developed using information obtained from the databases of the DANE, FiBL, and Cotrisa institutions. Then, linear and mixed integer programming is used to decide between alternative markets that make up a maximum-profit international supply chain. For each biopesticide, thirteen scenarios subject to variations in price, demand, and installed capacity were considered.

Results: The vegetable biopesticide should be prioritized for commercialization in Colombia and China, since the utility obtained from such markets exceeds that of the bacterial one by 47 % in favorable scenarios. Only in worst-case scenarios, the profits of the bacterial biopesticide exceed those of the vegetable one by 11 %. Beyond a mere decision, the authors provide a casuistic heuristic for making decisions under uncertainty.

Conclusions: The decision-making process in this study can be seen as a prospective analysis of the most probable scenarios and the more conservative or riskier bets made by project investors. The contributions include the use of linear optimization for profit maximization in new contexts, such as investment decisions in foreign trade chains of new biopesticide products, as well as novel associations of such optimization models with forecasts and regressions to increase the scope of the products.

Keywords: biopesticide, organic agricultural supply, international supply chain design, alternative export markets, profit maximization, linear and integer programming

Acknowledgements: We thank the University of Sucre and University of Cordoba for participating in the development of this project.

Language: Spanish

Open access



Cite this paper as: Moros, A., Mendoza, H., Amaya, R., Ortiz, M.: Diseño de máxima utilidad para cadenas de suministro: un caso de producción y distribución de bioplaguicidas. INGENIERÍA, Vol. 26, Num. 2, pp. 123-142 (2021).

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

<https://doi.org/10.14483/23448393.16756>

Resumen

Contexto: Este artículo muestra el diseño de una cadena de suministro de una empresa que será ubicada en el departamento de Sucre, Colombia. Dicha empresa producirá dos bioplaguicidas que serán utilizados para combatir la bacteria *Burkholderia glumae*, causante de la enfermedad del añublo blanco de la panícula en cultivos de arroz, uno de origen vegetal, compuesto de extractos vegetales y otro de origen bacteriano, derivado de bacterias endófitas, ambos son agentes plaguicidas reconocidos de la enfermedad bacteriana de los cultivos.

Método: Se desarrolla una modelación de los parámetros precio y demanda, utilizando información obtenida de las bases de datos de las instituciones DANE, FiBL y Cotrisa. Luego, se usa programación lineal y entera mixta para decidir entre mercados alternativos que conforman una cadena de suministro internacional de máxima utilidad. Para cada bioplaguicida se consideraron trece escenarios sujetos a variación de precio, demanda y capacidad instalada.

Resultados: El bioplaguicida vegetal debería priorizarse para ser comercializado en Colombia y China, dado que en escenarios favorables la utilidad obtenida de tales mercados sobrepasa en 47 % las de producto compuesto de bacterias endófitas. Solo en peores escenarios, las utilidades del bioplaguicida compuesto de bacterias endófitas superan en 11 % a las del vegetal. Más allá de una mera decisión, los autores entregan una heurística casuística para tomar decisiones bajo incertidumbre.

Conclusiones: El proceso de toma de decisiones debe ser visto bajo un análisis prospectivo de los escenarios más probables y las apuestas más conservadoras o propensas al riesgo de los inversores del proyecto. Las contribuciones introducidas incluyen el uso de optimización lineal para maximizar utilidades en nuevos contextos de aplicación, tales como decisiones de inversión en cadenas de comercio exterior de nuevos productos bioplaguicidas, así como asociaciones de uso de tales modelos de optimización junto con pronósticos y regresiones para incrementar el alcance de los productos.

Palabras clave: bioplaguicida, suministro agrícola orgánico, diseño de cadena de suministro internacional, mercados de exportación alternativos, maximización de utilidades, programación lineal y entera

Agradecimientos: Agradecemos a la Universidad de Sucre y la Universidad de Córdoba por participar en el desarrollo de este proyecto.

Idioma: Español

1. Introducción

El añublo de la panícula de arroz es una enfermedad que amenaza la producción de cultivos de arroz a nivel mundial, cuyo agente causal es la bacteria *Burkholderia glumae*. Los cultivos de arroz poseen la segunda mayor importancia económica y nutricional en la dieta de las personas después del trigo, por lo tanto, las investigaciones sobre la búsqueda de soluciones a dicha enfermedad han tomado gran relevancia y ha aumentado en los últimos años [1]. Esta enfermedad severamente amenaza la producción de cereales como el arroz, y otros cultivos como el ñame [2]. Las afectaciones generadas a los cultivos son la putrefacción de granos y plántulas, lo que ha venido ocasionando pérdidas mayores al 75 % de la producción en campos severamente afectados [1].

La bacteria *Burkholderia glumae* ha sido identificada en sembrados de arroz de los siguientes países, por mencionar algunos: Colombia [3], Indonesia [4], China [5] y Costa Rica [6]; por tanto, es motivo de diferentes investigaciones para evitar las consecuencias económicas que esta tiene. Según [7], en Colombia en el año 2009 el “fenómeno del Niño” causó un aumento sustancial en las

temperaturas, condición ambiental que fomenta el incremento de la densidad de dicha bacteria al activar genes que sintetizan la toxoflavina, causando vaneamiento del grano [6], lo que contribuyó a la aparición de la misma en Colombia.

Actualmente el control químico es el principal recurso utilizado contra la enfermedad, aunque su uso constante tiene como consecuencia que algunas cepas bacterianas desarrollen resistencia en el cultivo de arroz [8]. Además, la fumigación con químicos trae consigo otras consecuencias indeseadas, tales como el quebranto de la salud de los consumidores de producto cosechado, debido a los altos niveles de toxicidad que introducen estos plaguicidas al ser ingeridos. Por lo anterior es deseable tener una alternativa que cumpla con los requisitos de mantener libre de plagas, pero que además no introduzca los efectos negativos de los insecticidas químicos; es decir, que sea amigable con el medio ambiente, con la salud de los seres humanos y demás seres del ecosistema de las plantaciones [9].

En línea con lo anterior, algunos autores han desarrollado estudios que muestran la acción protectora de ciertos extractos vegetales y de bacterias endófitas sobre la bacteria *Burkholderia glumae*. De acuerdo a [8], las bacterias endófitas extraídas de la planta de arroz, poseen una actividad antimicrobiana que genera una barrera protectora sobre dicha planta, permitiendo que esta no sea afectada por el ataque de la bacteria causante del añublo blanco. Respecto de los extractos vegetales, [10] utilizan el extracto vegetal de la *Melia azedarach* en diferentes concentraciones para evaluar la actividad antibacteriana sobre la bacteria *B. glumae*, observándose que dicha bacteria mostró resistencia ante los diferentes tipos de tratamientos. Por otra parte, la actividad antimicrobiana de las bacterias endófitas obtenidas del árbol de Neem (*Azadirachta indica*) muestran una actividad inhibitoria en el 50 % del crecimiento de la *B. glumae* [11].

El objetivo de esta iniciativa es desarrollar una herramienta de soporte para la toma de decisiones prospectivas, en lo concerniente a posibilidades de inversión en instalaciones fabriles en Colombia, aunado a capacidades, cantidades a producir y vender, y destinos internacionales posibles, de forma que conduzcan a un mejor retorno en utilidades al comercializar internacionalmente bioplaguicidas para cultivos orgánicos. El presente estudio examina dos bioplaguicidas, o productos como genéricamente los denominaremos en este artículo, que se considerarán como alternativas excluyentes para el desarrollo fabril anteriormente mencionado. Tales bioplaguicidas son: producto de origen vegetal, de base vegetal de extracto del árbol de Neem [12] y producto de origen bacteriano, desarrollado de suspensión de bacterias endófitas [2].

Se desarrolló un plan de marketing que identificó cuáles eran los principales ingredientes activos de los plaguicidas químicos utilizados para mitigar los efectos nocivos, las características físicas que debían tener los bioplaguicidas y cuáles eran los mercados internacionales más promisorios para dichos bioplaguicidas. Con esta información se procedió a diseñar un modelo de cadena de suministro para los dos bioplaguicidas examinados, para analizar y contrastar como alternativas de inversión excluyentes en cuanto al tipo de instalaciones fabriles, dada su diferente naturaleza al tratarse de producto de origen vegetal o de origen bacteriano. La consideración excluyente se postula en razón de lograr un mejor aprovechamiento de economías de escala en producción y distribución.

El modelo matemático propuesto incorpora las variables de decisión y características más rele-

vantes de la cadena, tales como cantidades a vender en los mercados nacionales e internacionales, medio de transporte al que se llevarán los mercados y utilidad esperada del proyecto. Se seleccionó el uso de un modelo de programación lineal, el cual muestra las decisiones óptimas para maximizar o minimizar la función objetivo [13]. En este caso, se utiliza un modelo de maximización de utilidades con base en la estimación de la demanda y el precio del bioplaguicida. Mediante las decisiones que el modelo habilita, se logra posicionar el producto, y la empresa podrá contar con un objetivo estimado de utilidades esperadas al acceder a los mercados seleccionados.

Se propone para este trabajo un conjunto diverso de contribuciones que versan desde el orden práctico, pasando por los ámbitos ambiental y sanitario, hasta llegar a lo científico. Desde la perspectiva aplicada, se entrega el diseño de una herramienta prospectiva que conduce la toma de decisiones y minimiza riesgos de inversión bajo entornos de alta incertidumbre, tales como el lanzamiento de nuevas alternativas de bioplaguicidas a nuevos mercados. Es de destacar que esclarece vías concretas para la apertura de nuevos mercados de exportación para el país, lo que conlleva a aportes de alto valor agregado de manufactura al PIB colombiano.

Desde la perspectiva de lo ambiental, se habilita el desarrollo sostenible de los cultivos orgánicos en el contexto nacional e internacional, mediante el establecimiento de propuestas de ganancias máximas para la producción y distribución internacional de productos bioplaguicidas. No menos importante, se tiene un claro aporte dirigido hacia la disminución de riesgos potenciales de intoxicación por consumo humano de remanentes químicos en cultivos vegetales que han sido tratados con plaguicidas químicos convencionales.

En cuanto a las contribuciones científicas, para su identificación se toma como referencia una estrategia semántica presentada por [14], que es utilizada para la reivindicación de contribuciones científicas. [14] proponen que las contribuciones son el núcleo de las investigaciones científicas, porque cada una de ellas proporciona utilidad o valor, en diferente magnitud, a al menos una audiencia cuyo conocimiento se expande al considerar un argumento o los hallazgos de un estudio. Dicha estrategia semántica se basa en la categorización de las contribuciones, articuladas en cuatro categorías principales: incremental, reveladora, replicativa y consolidadora, cada una incluyendo además subcategorías específicas¹.

Teniendo en cuenta la clasificación anterior, se presentan como contribuciones científicas de este artículo: la aplicación de técnicas conocidas de optimización lineal para maximización de utilidades en un nuevo contexto de aplicación sobre productos bioplaguicidas no existentes, para proyectar decisiones de inversión y sostenibilidad bajo incertidumbre en el largo plazo (categoría: incremental, subcategoría: nuevo contexto); adicionalmente, tales modelos de optimización se usan complementariamente con otras técnicas econométricas, tales como pronósticos y regresiones para proporcionar parámetros de entrada a dichos modelos de optimización, en cuanto a proyecciones de demanda y precios de mercado (categoría: replicativa, subcategoría: replicación cercana).

El presente documento se encuentra estructurado de la siguiente manera: se desarrolla una revi-

¹Para más información sobre las categorías y subcategorías de clasificación de las contribuciones científicas, el lector debe remitirse a [14].

sión literaria en la que se exponen investigaciones sobre modelación de cadenas de suministro por medio de múltiples técnicas de programación matemática. Posteriormente se desarrolla la modelación de parámetros en la que se detalla la manera como fueron estimados los precios y las demandas de los productos tanto de origen vegetal como bacteriano. Luego se describen los componentes del modelo. Con la información anterior se procede con pruebas numéricas para análisis de los resultados obtenidos. Finalmente se plantean criterios de decisión bajo un examen de múltiples escenarios sobre los cuales se discuten las mejores opciones de inversión en capacidad y de comercialización de los bioplaguicidas. Por último, se resumen las conclusiones obtenidas de la investigación.

2. Revisión literaria

La modelación de una cadena de suministro permite la planificación de la producción y el transporte mediante el logro de un objetivo en específico, como por ejemplo, la maximización de beneficios o disminución de costos [13]. Existen diferentes técnicas de modelación por medio de algoritmos matemáticos: programación lineal entera y mixta, programación no lineal, programación no lineal entera, programación multiobjetivo con restricciones no lineales, programación matemática difusa, programación estocástica y modelos híbridos lineales apoyados por simulación [13]. Al revisar la literatura se encontraron diversas investigaciones enfocadas en la utilización de modelos para la planificación y ejecución de una cadena de suministro.

En [15], los autores diseñan un modelo que integra tanto la planificación de la producción como la distribución para una multinacional en el sector químico. El modelo consta de varias plantas, múltiples periodos y múltiples productos. La estructura de la cadena es tipo red con un nivel de decisión táctico y cuyo objetivo es maximizar los beneficios. El modelo incorpora información referente a estructura de producto, costo de fabricación, costos de transporte, costos de subcontratación, ingresos por ventas, costos de inventario, capacidad de transporte, capacidad de almacenamiento, capacidad de aprovisionamiento y demanda.

Otros autores [16] evalúan dos escenarios, centralizados y descentralizados, en un entorno de planificación de transporte y producción. El modelo tiene como objetivo maximizar los beneficios, sus características principales son: un nivel de decisión táctico y de tipo red. El modelo se alimenta con la información de los costos de fabricación, transporte e inventario. Adicionalmente con información de capacidad de almacenamiento y demanda.

En la revisión de literatura se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: año de publicación, objetivos, alcance internacional, producto químico, orgánico y biológico, y plaguicida. Respecto del período de publicación, se incluyeron investigaciones publicadas desde el año 1989 hasta febrero de 2019. Se identificó si el estudio revisado se desarrolló con la finalidad de maximizar utilidad o minimizar costos. También si los costos del comercio internacional se tuvieron en cuenta en el desarrollo del modelo estudiado. Adicionalmente, se determinó si el producto transado poseía una composición de tipo química, orgánica o biológica, y si específicamente se trataba de un plaguicida.

Se percibió que el 30 % de los trabajos tiene como objetivo maximizar las utilidades de los modelos de la cadena de suministro, el 70 % restante se concentra en la minimización de los costos.

Respecto al comercio internacional, el 20 % de las investigaciones incorporan los costos asociados al comercio entre países. En la composición del producto, el 12 % de los estudios muestra que los modelos de cadenas de suministros fueron desarrollados a productos que forman parte al sector químico. En el resto de investigaciones no se identificó productos con algún tipo de composición orgánica o biológica. Así mismo, en los estudios revisados no se encontró ninguno que estuviese relacionado con el diseño de una cadena de suministro para productos plaguicidas.

3. Modelación de parámetros

3.1. Precio

El control químico es el único método utilizado contra la enfermedad, aunque el uso prolongado de este tiene como efecto que la bacteria pueda desarrollar resistencia en el cultivo de arroz [8]. Del mismo modo, se han practicado pruebas en laboratorio con el uso de ingredientes activos químicos como validacimina A, kasugamicina, óxido cúprico, oxitetraciclina, sulfato de cobre, ácido oxolínico y ácido hipocloroso, en que se demostró que no tenían efectos sobre el control de la bacteria *Burkholderia glumae* [17].

Al ser el control químico la opción tradicional y prácticamente exclusiva para contrarrestar la enfermedad, se opta por identificar qué plaguicidas en el mercado contienen los ingredientes activos antes mencionados, con el propósito de usar como producto sustituto de referencia. En la búsqueda se logra identificar dos productos con un ingrediente activo diferente: validacimina A y oxitetraciclina. La validacimina A como ingrediente activo es empleada, comúnmente, para controlar plagas de tipo fúngicas en la agricultura. La oxitetraciclina es un ingrediente activo empleado para el control de diferentes tipos de bacterias en los cultivos. Con la identificación de los agroquímicos se procedió a registrar los precios en el mercado de estos. Los precios de los agroquímicos fueron tomados de los boletines mensuales de insumos y factores asociados a la producción agropecuaria y publicados por el Departamento Nacional de Estadística en Colombia (DANE) [18]. Para el periodo comprendido entre el año 2012 y 2017, se desarrolló una media con los precios de los diferentes lugares que describen los boletines en el mes de diciembre. Respecto al año 2018, la media fue calculada con base en el boletín del mes de julio.

Teniendo en cuenta la diferencia existente entre la tendencia de los precios, se selecciona el precio del agroquímico a base de validacin como precio de referencia del mercado, debido a que este producto muestra una tendencia decreciente en el precio. Además, desde el año 2014 en adelante el agroquímico a base de validacin presentó un precio menor al del agroquímico a base oxitetraciclina. Por otra parte, considerando como parámetro mínimo mantener un margen de ganancia deseado del 10 % con respecto a los costos totales de producción, se propone una formulación para los precios contemplando tres posibles variantes para los diez periodos: como primera medida se propone manejar un precio introductorio por debajo del precio del agroquímico a base de validacin durante los tres primeros años, contemplando un margen del 20 % por debajo del precio promedio del mercado de ambos productos de referencia.

Seguidamente se propone diversificar el precio en tres escenarios (series de tiempo) para los res-

tantes años de la ventana de tiempo modelada: uno pesimista, uno base y uno optimista. El escenario pesimista se define con una tendencia del 20 % de margen por debajo del precio del agroquímico a base de validacin. Para el escenario base se define la tendencia creciente del precio del agroquímico seleccionado. Y, por último, para el escenario denominado como optimista se propone fijar un margen del 10 % por encima del precio del validacin.

3.2. Demanda

En el análisis de la demanda internacional se seleccionaron de manera preliminar cuatro países. En la elección de los tres primeros países se tuvieron en cuenta aquellos que fuesen los mayores productores de arroz en el mes de diciembre de 2018. Estos países son China, India e Indonesia [19]. En la elección del cuarto país se toma a aquel que fuese el mayor exportador de arroz registrado en el mes de diciembre de 2018, como India es el mayor exportador y fue seleccionado en el primer criterio, se decide optar por el segundo, que es Tailandia [20].

Luego de la elección preliminar, los países pasan por un segundo filtro, que consiste en identificar el número de hectáreas cultivadas con arroz de tipo orgánico, como medida que permite aproximar la aceptación por los productos de tipo biológico. Se observa que los países reportaron las siguientes cantidades de hectáreas cultivadas con arroz orgánico: China, 275.839,58; Indonesia, 1.401,32; Tailandia, 32.773,92, e India no reportó ninguna hectárea cultivada.

Con la elección de los mercados internacionales, se procede a analizar la demanda de la cantidad de bioplaguicida que será destinado a cada uno. Por ser plaguicidas de origen biológico, se decide estimar la demanda por medio del número de hectáreas de arroz orgánico que tiene cada país. Los datos sobre el arroz orgánico fueron tomados del Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) [20], el cual se tomó en forma exclusiva, considerando el consumo potencial de arroz orgánico. Para los efectos de estimar la demanda de los bioplaguicidas, se tomó como base el 10 % del número de hectáreas cultivables de cada país proyectadas como mercado objetivo factible de acceder anualmente; seguidamente, el consumo de cada variedad de producto se obtuvo sobre la base de consumo de bioplaguicida por hectárea cultivada en forma anual.

4. Modelo general

A continuación, se detalla el proceso de producción, logística y distribución de los bioplaguicidas, en este caso se considerará el mismo esquema de cadena de suministro para ambos bioplaguicidas. Es importante detallar que hasta el momento se propone la apertura de una única instalación de producción y ensamble. A su vez, el modelo está habilitado para escoger la opción de transporte más conveniente para el transporte nacional y el transporte internacional, aun cuando se anticipa la selección de transporte carretero y marítimo, respectivamente.

Como supuesto importante, se considera que dicha instalación de producción desarrollará en forma exclusiva un solo producto, sea el bioplaguicida de base vegetal o la solución de bacterias endófitas, pero no ambos. Esto, dado que en términos industriales las ventajas por economías de escala

y curva de aprendizaje favorecen la especialización de instalaciones y procesos a un solo producto. Así, se desarrolla la modelación de cadenas de suministro internacionales en la que cada bioplaguicida se diferenciará en costos y tasa de producción con base en la información suministrada por el equipo desarrollador.

4.1. Supuestos del modelo

- I Las empresas proveedoras tienen capacidad suficiente para suplir los requerimientos de la demanda.
- II Los costos fueron producto de consultas sobre la oferta de proveedores y transportistas.
- III La capacidad de producción de la planta para el producto vegetal es de 20 litros cada tres horas y eso equivale al uso de 50 kg de Neem (materia prima).
- IV La capacidad de producción de la planta para el bioplaguicida de origen bacteriano es de cien litros diarios.
- V Dependiendo el tipo de escenario, se harán incrementos de capacidad cada tres periodos, por lo cual se considera una inversión cada tres años en capacidad del 5 %.
- VI Se considera un incremento de costos fijos en instalaciones con cada incremento de capacidad instalada en el tiempo.
- VII La demanda nacional está basada en la captación del 5 % del mercado total, incrementado anualmente. Sin embargo, se emplearán diferentes escenarios para evaluación prospectiva.
- VIII La demanda internacional está enfocada en pronósticos de producción de hectáreas de arroz en tres países seleccionados en el plan de marketing internacional, la captación del mercado comienza con el 10 % de hectáreas cultivadas en cada país.

4.2. Formulación matemática

4.2.1. Índices

i : # de mercados nacionales e internacionales (por países y sectores nacionales)
 j : # de medios de transporte a utilizar (transporte terrestre y marítimo)
 t : # de periodos a analizar

4.2.2. Variables

X_{ijt} : número de unidades a suplir al mercado i a ser transportados por el medio j en el periodo t .
 I_{it} : número de unidades a mantener en inventario para el mercado i durante el periodo t .
 B_{it} : número de unidades faltantes para el mercado i durante el periodo t .
 U_t : utilidad esperada en el periodo t .
 C_t : costos esperados en el periodo t (producción y transporte, inventario y faltantes).
 I_t : ingresos esperados en el periodo t .

4.2.3. Constantes asociadas a variables

CM_{ijt} : costos de operación (producción y transporte) de unidades demandas por el mercado i a ser transportados por el medio j durante el periodo t .

PV_{ijt} : precio de venta por unidad para mercado i a ser transportada por el medio j en el periodo t .

D_{it} : demanda de unidades del mercado i a suplir en el periodo t .

CI_t : costo de mantener en inventario unidades durante el periodo t .

CB_{it} : costo por unidad por incumplir demanda del mercado i en el periodo t .

Cap_t : capacidad de la planta por periodo t .

4.2.4. Función objetivo

$$Z(MAX) = \text{Ingresos} - \text{Costos}$$

Ingresos:

Por la venta de unidades a mercados nacionales e internacionales

$$\sum_{i=1}^{\text{mercados}} \sum_{j=1}^{\text{transporte}} \sum_{t=1}^{\text{periodo}} PV_{ijt} X_{ijt} \quad (1)$$

Costos:

Costo operación (producción y transporte):

$$\sum_{i=1}^{\text{mercados}} \sum_{j=1}^{\text{transporte}} \sum_{t=1}^{\text{periodo}} CM_{ijt} X_{ijt} \quad (2)$$

Costo - Inventarios

$$\sum_{i=1}^{\text{mercados}} \sum_{t=1}^{\text{transporte}} CI_t I_{it} \quad (3)$$

La función objetivo está basada en la maximización de utilidades, la cual se basa a su vez en los ingresos por venta del producto a nivel nacional e internacional (1) menos los costos totales, los cuales son: (2) costos de operación que incluyen producción y transporte, y (3) costo de mantener inventario. Es importante destacar que se utilizan dos modelos diferentes para cada tipo de producto (vegetal y bacteriano), teniendo en cuenta que la decisión sobre inversión, operación y comercialización del uno sobre el otro es excluyente, y que los objetivos del plan de marketing y logística de la empresa productora incluyen evaluar dichas oportunidades de inversión.

4.2.5. Restricciones

Sujeto a:

Capacidad de planta

$$\sum_{i=1}^{\text{mercado}} X_{ijt} \leq Cap_t \quad (4)$$

Para todo j, t .

La restricción (4) está asociada a la capacidad de la planta, la cual indica que el número de productos a fabricar no puede exceder la capacidad de producción de la planta. Dicha capacidad es fija para cada tipo de producto (vegetal y bacteriano).

Balance de inventario planta

$$I_{it} - B_{it} = I_{i(t-1)} + \sum_{i=1}^{\text{transporte}} X_{ijt} - B_{i(t-1)} - D_{it} \quad (5)$$

Para todo i, t .

La restricción asociada al balance de inventario en planta (5) restringe el número de productos a fabricar por periodo para cada mercado, el cual depende de la cantidad de inventario, los faltantes la demanda en cada periodo por mercado.

Inventario inicial

$$I_{i0} = 0 \quad (6)$$

Cantidad de producto

$$X_{ijt} \geq 0 \quad (7)$$

Para todo i, j, t .

La restricción (6) indica que el inventario inicial en el primer periodo es igual a cero. La restricción (7) indica que la cantidad de producto a fabricar en cada periodo tiene que ser mayor o igual a cero y además entera.

5. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se tiene en cuenta la generación de trece escenarios prospectivos, que reúnen diferentes combinaciones factibles de los parámetros de precio, demanda y capacidad de producción, los cuales son detallados en la Tabla I y subsecuentemente explicados en esta sección. Para los parámetros precio y demanda se tiene en cuenta tres tipos de escenarios: pesimista, optimista y base, y para la capacidad de producción dos tipos de escenarios: constante o creciente.

Es importante destacar que de todas las combinaciones posibles se toman en cuenta solo las que son lógicamente factibles. Por ejemplo, combinaciones como precio y demanda pesimista y capacidad de producción creciente no se contemplan, ya que, si el precio y la demanda son pesimistas, no se justifica una inversión para aumentar la capacidad de producción. El detalle de cada escenario, tanto para el precio como para la demanda, se encuentra en la sección 3.

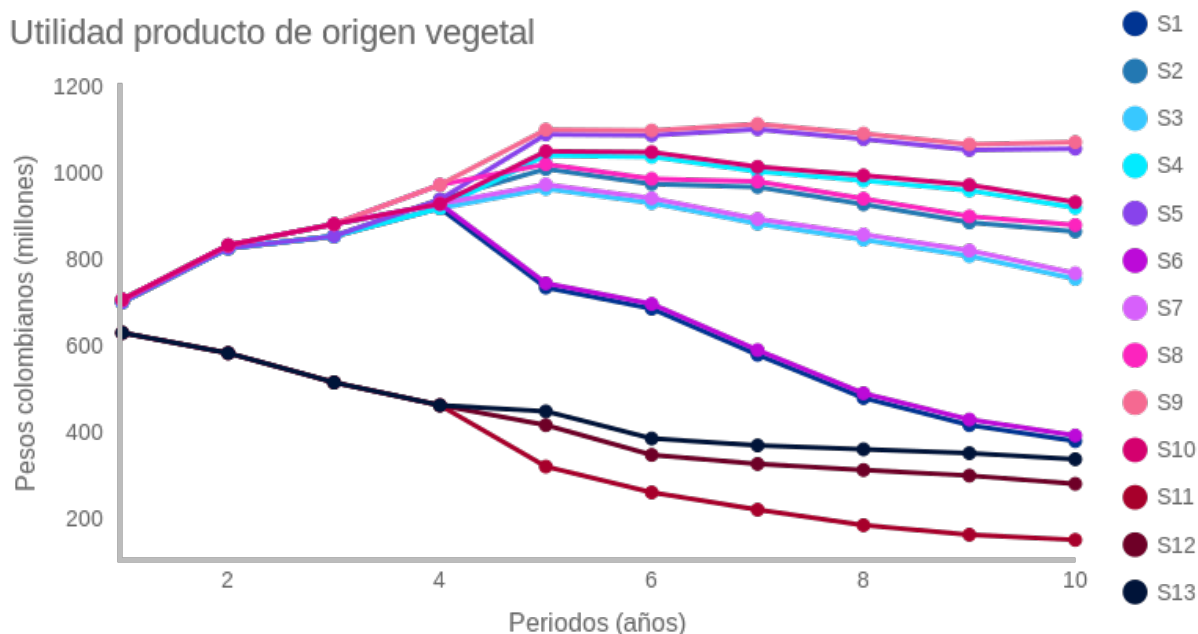
Es importante destacar que, para la evaluación de los escenarios referentes al producto de origen vegetal, se usará como nomenclatura la letra (S) delante del número de identificación de los escenarios, y para el caso de los escenarios asociados al producto compuesto de suspensión de bacterias

Tabla I. Escenarios por producto

Escenarios	Precio	Demanda	Capacidad de producción
1	pesimista	base	constante
2	base	base	creciente
3	base	base	constante
4	optimista	base	constante
5	optimista	base	creciente
6	pesimista	optimista	constante
7	base	optimista	constante
8	base	optimista	creciente
9	optimista	optimista	creciente
10	optimista	optimista	constante
11	pesimista	pesimista	constante
12	base	pesimista	constante
13	optimista	pesimista	constante

endófitas se usará la letra (B).

A continuación, la Figura 1 muestra en detalle la utilidad de cada escenario del producto de origen vegetal en cada uno de los periodos.

**Figura 1.** Utilidad producto de origen vegetal

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta cada uno de los trece escenarios expuestos anteriormente y con base en los ingresos y costos de estos, se puede afirmar que el mejor escenario sería el escenario S9, en cuanto a que tiene las mejores condiciones de precio, demanda y capacidad. De la misma manera, el peor escenario es el S11, el cual maneja una tendencia de precios pesimista, una demanda pesimista y una capacidad de producción constante. Al analizar cada escenario se pueden obtener conclusiones como:

- La capacidad de la planta siempre está por debajo de la demanda, tanto nacional como internacional. El modelo prefiere suplir primero el mercado nacional debido a los costos totales, ya que estos son menores que para el caso del mercado internacional y maximiza la utilidad.
- El mercado internacional más atractivo es China, mercado que como supuesto de demanda solo se le tomó un 10 % de la demanda total actual. Esto significa que en el caso de un aumento de capacidad de producción y una estrategia de captación de mercado internacional, siempre sería más rentable enviar a China y tratar de aumentar el margen de demanda. De hecho, su amplia porción de demanda es tal que en escenarios optimistas bien podría absorber por sí misma toda la capacidad instalada.
- Es importante destacar que aun en el peor escenario en el cual la demanda decae, el precio decae y la capacidad de producción es constante, se puede tener un margen de utilidad positivo.
- Cuando la demanda es pesimista en los escenarios S11, S12 y S13 se reportan las utilidades más bajas acompañadas con un comportamiento decreciente. Por otro lado, cuando las condiciones son de precio pesimista junto a una demanda constante, las utilidades crecen hasta el cuarto año, y después empiezan a decaer, debido a que no se pueden captar más demanda por la falta de capacidad y el precio no permite obtener utilidades que promuevan el crecimiento de la empresa. Bajo estos escenarios no se contempla crecimiento de la inversión en capacidad.
- En los escenarios S9 y S5, al ser el precio optimista y contar con una estrategia de capacidad instalada creciente, las utilidades son altas, logrando valores por encima de \$1.100.000.000 COP. La capacidad instalada creciente permite absorber una porción mayor de la demanda, y al estar acompañado de un precio optimista, se obtiene una utilidad que permite el crecimiento de la empresa.

De igual manera que para el producto de origen vegetal se graficaron las utilidades de cada escenario por periodo del producto de origen bacteriano (ver Figura 2), como se expuso anteriormente, para su identificación cada escenario tendrá la letra B delante del número asociado a cada escenario.

A continuación, se analizan los escenarios que fueron simulados para el producto basado en suspensión de bacterias endófitas. La Figura 2 muestra que los escenarios donde se obtuvieron las mayores utilidades fueron el B9 y el B5, en los que las utilidades recibidas al finalizar los diez años son superiores a los \$700.000.000. Lo anterior se debe a que las condiciones de la demanda y la capacidad instalada son crecientes. Respecto a los peores escenarios, se identificaron los escenarios B6, B11 y B12. En estos escenarios las condiciones fueron pesimistas, lo que contribuyó a que la

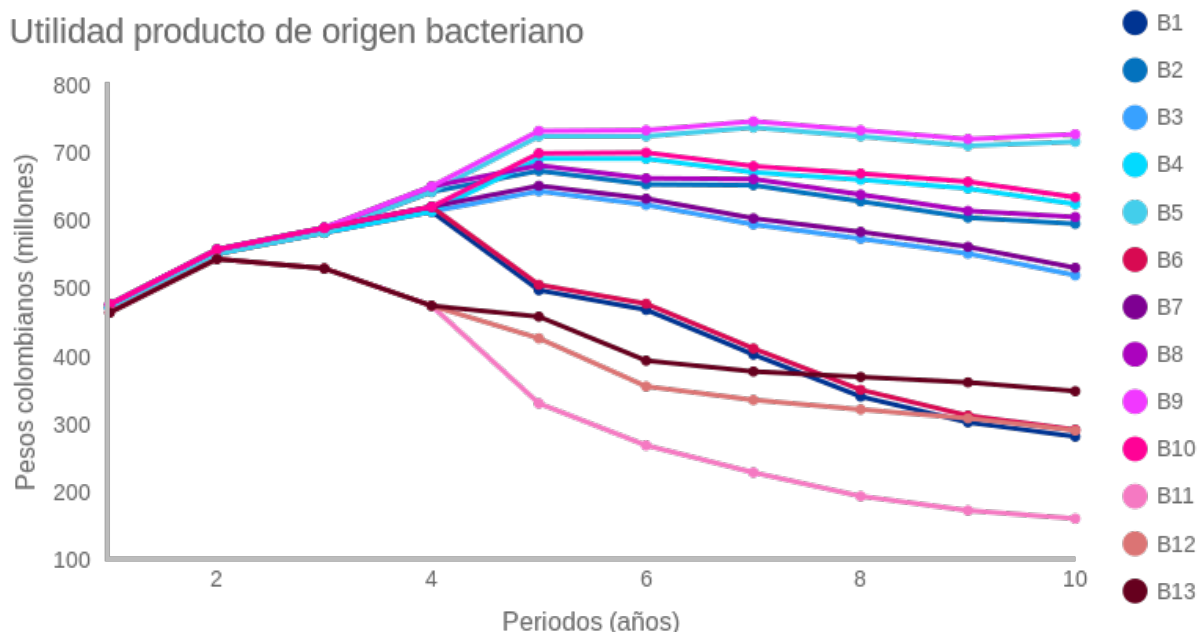


Figura 2. Utilidad producto de origen bacteriano

Fuente: elaboración propia

utilidad tuviese un comportamiento decreciente en el tiempo.

En el escenario B11 la utilidad en el décimo año fue de \$156.000.000. Para los escenarios B6 y B12, las utilidades se mantuvieron por encima de los \$240.000.000. Luego de analizar cada escenario, se concluye de la siguiente manera:

- El modelo muestra que las ventas a nivel nacional son más atractivas que las ventas en el exterior. En los escenarios con condiciones optimistas las ventas nacionales duplican a las ventas proyectadas en China, siendo el país asiático en donde más unidades de bioplaguicidas de origen bacteriano se venden. Así mismo, en aquellos escenarios donde las condiciones son pesimistas se observa que las ventas nacionales son hasta seis veces más grandes que en China. Esto se debe a que los costos nacionales son menores a los internacionales.
- En caso de aumentar la cuota de mercado en el exterior, se recomienda aumentar la capacidad de producción para enviar más unidades de bioplaguicidas a China, debido a que es la nación donde se obtiene el segundo mayor volumen de ventas a lo largo del tiempo.
- Al igual que en los escenarios evaluados con el bioplaguicida de origen vegetal, se observa que las utilidades se mantienen positivas en los escenarios analizados para el bioplaguicidas de origen bacteriano.
- Cuando se proyecta una estrategia de precio optimista se observa que las utilidades mantienen un comportamiento creciente en el tiempo. En contraste, cuando se considera una estrategia

de precio base se observa que las utilidades crecen hasta el quinto año y luego permanecen constantes. Por último, ante una estrategia de precio pesimista las utilidades crecen hasta el segundo año y luego empiezan a decaer. Al combinar las estrategias de precios optimistas con la condición de demanda optimista, las utilidades crecen sustancialmente. En cambio, cuando se mezclan las condiciones de demanda constante o decreciente las utilidades decrecen rápidamente.

- La estrategia de capacidad instalada creciente genera un aumento significativo en los ingresos, dado que los ingresos al final del último año son superiores a los \$1.100.000.000. Así mismo, el aumento de los costos muestra ser superior a los \$500.000.000. Por lo tanto, las utilidades para los escenarios con capacidad instalada creciente son mayores a los \$600.000.000.

5.1. Análisis de resultados comparativos

A continuación, se procede a realizar un análisis del mejor y el peor escenario de ambos productos, para así tomar una decisión de fabricación y exposición de los productos. La Figura 3 muestra el mejor escenario en ambos casos para una ventana de tiempo de diez años, con parámetros de precio creciente, demanda optimista y capacidad de producción creciente; para el producto de origen vegetal tiene como nomenclatura de identificación (S9) y para el caso de la suspensión de bacterias endófitas (B9).

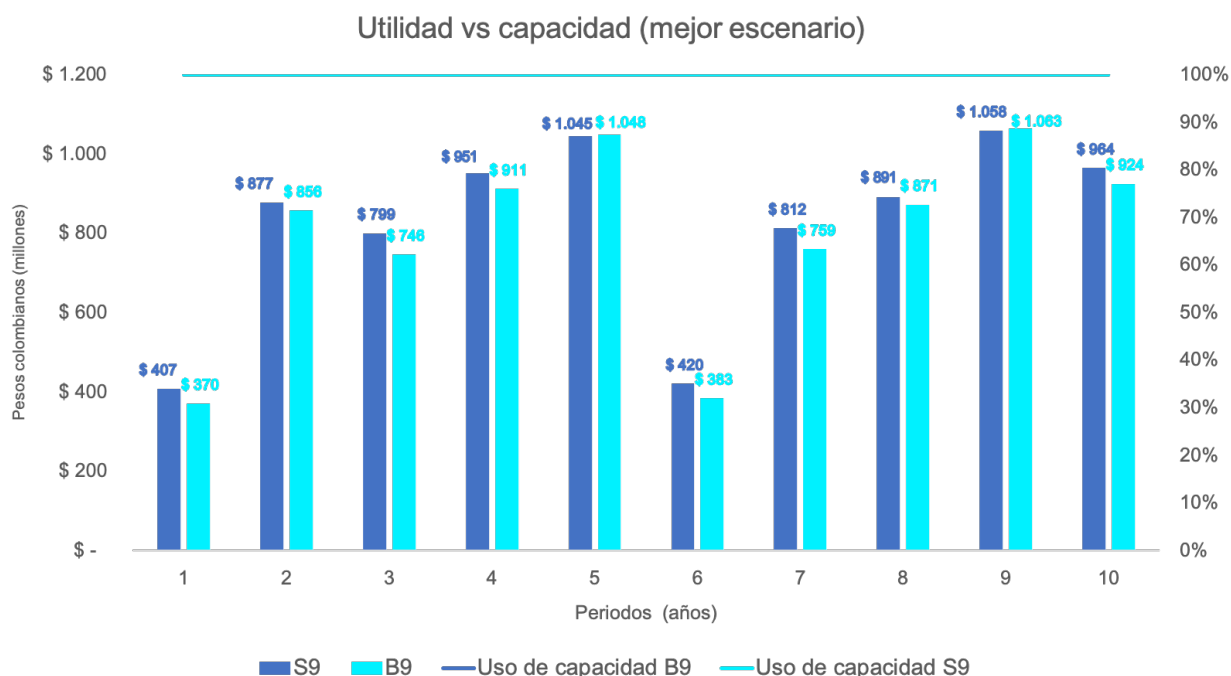


Figura 3. Utilidad vs Capacidad (mejor escenario)

Fuente: elaboración propia

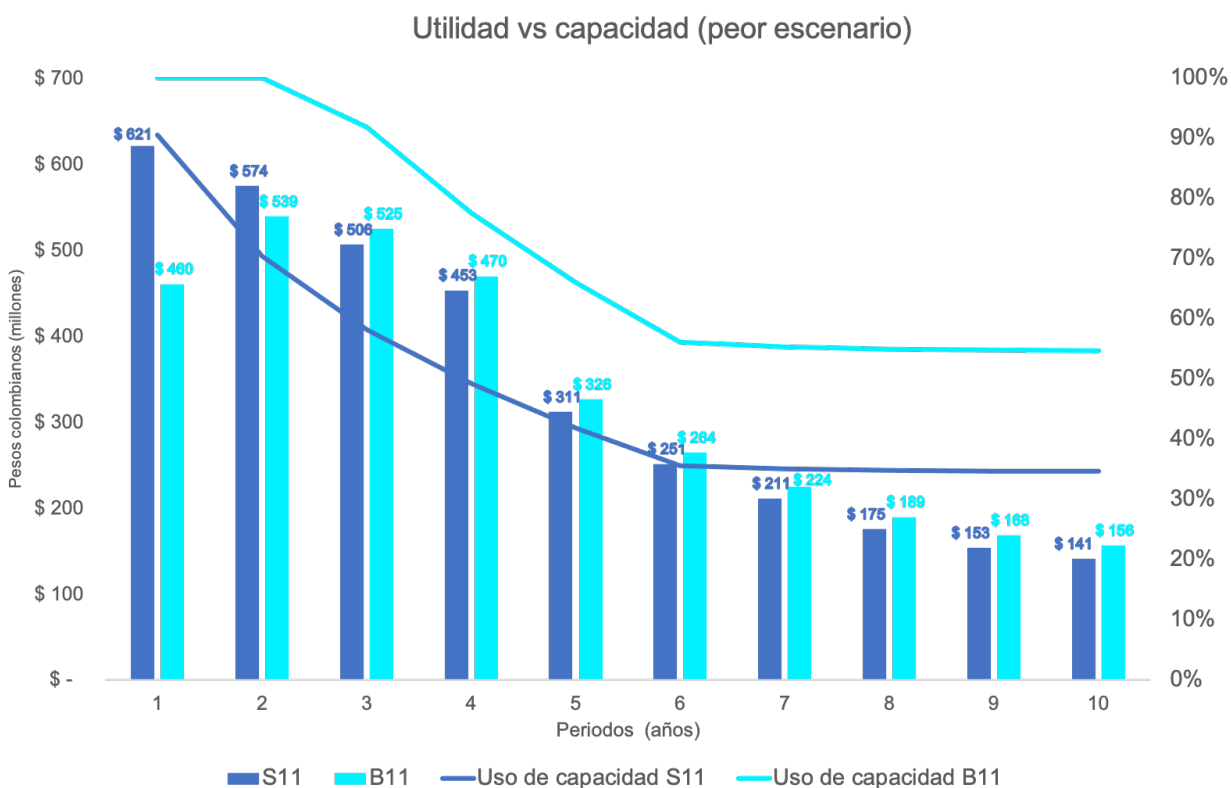


Figura 4. Utilidad vs Capacidad (peor escenario)

Fuente: elaboración propia

Como primera medida se observa que el uso de capacidad para todos los periodos tanto del producto de origen vegetal como del de origen bacteriano es del 100 %. Esto indica que, para ambos casos, la suma de las demandas, nacional e internacional, está por encima de la capacidad de la planta. Sin embargo, existe una diferencia al analizar las utilidades por periodo de cada escenario para cada producto.

La Figura 3 ilustra con un diagrama de barras la utilidad en cada periodo; en ella se observa que estas son significativamente mayores para el producto vegetal (S9), debido netamente a la mayor capacidad de producción de este último, la cual siempre es aproximadamente 40 % mayor que para el producto de origen bacteriano.

Teniendo en cuenta los resultados comparativos de ambos productos, se propone como recomendación o estrategia enfocarse en la fabricación exclusiva del bioplaguicida de origen vegetal, aunque los costos sean mayores que para el caso del producto compuesto de solución de bacterias endófitas. Esto debido a que el margen de utilidad es más significativo y se puede llegar a la captación de más mercado, tanto nacional como internacional.

Considerando ahora el caso del peor escenario de ambos productos, la Figura 4 presenta precios y demandas con tendencias pesimistas y capacidad de producción constante a lo largo de los diez

periodos de estudios (S11) para el producto de origen vegetal y (B11) para el producto de origen bacteriano); se puede observar como primera medida la tendencia decreciente del uso de capacidad.

Para el caso del producto de origen vegetal (S11), el porcentaje de uso de la capacidad decrece a partir del primer periodo y se logra estabilizar desde el sexto periodo en adelante; sin embargo, es significativamente más baja que para el caso del producto de origen bacteriano (B11). En cuanto a la utilidad, solo en los dos primeros periodos el producto de origen vegetal logra tener mayor rentabilidad, y a partir del tercer periodo el producto de origen bacteriano logra ser más rentable.

No obstante, debido a las condiciones del mercado y el supuesto de captación del 5 % al 10 % de la demanda nacional y de China, es muy poco probable que este escenario ocurra. Y aun si ocurriese, para ambos bioplaguicidas la rentabilidad es positiva. Es de notarse que en un escenario adverso como el descrito es más favorable la decisión de manufacturar el producto de origen bacteriano, dado que produce más ingresos con una inversión menor y, por tanto, con un menor riesgo de inversión.

6. Conclusión

Burkholderia glumae es la bacteria causante de una enfermedad que amenaza la producción de cultivos de arroz a nivel mundial, por lo que en el transcurso de los años se han buscado diferentes alternativas de solución para combatir la enfermedad. Actualmente, el control químico es el más usado para prevenir y eliminar esta enfermedad en los cultivos, aunque este recurso presenta efectos secundarios en la salud de los seres humanos.

Debido a esto se han desarrollado diferentes estudios enfocados en el uso de extractos vegetales y bacterias endófitas para combatir dicha enfermedad sin generar daños en la salud de los consumidores de arroz. A pesar de ello, la comercialización de estos no está muy avanzada. Es por esto que el presente estudio busca crear oportunidades de apertura de mercados para dichos productos, con el fin de mejorar las producciones de arroz tanto nacional como internacional con alternativas de pesticidas biológicos (que con su consumo no sean perjudiciales a la salud). A su vez, se buscó dar soporte a la creación de pequeñas empresas en mercados emergentes.

Mediante esta investigación se propuso impulsar y facilitar la entrada al mercado nacional e internacional de dos bioplaguicidas, uno de origen vegetal y otro de origen bacteriano, que protegen cultivos de arroz contra el añublo blanco de la panícula de arroz. Para ello, este estudio desarrolló como primera medida pronósticos de las demandas de los productos, tanto a nivel nacional como internacional. A su vez, se desarrolló un modelo que permite facilitar la fabricación y la distribución de los productos mediante la creación detallada de su cadena de suministro. Teniendo en cuenta lo anterior, se obtuvieron dos tipos de resultados con base a cada producto, descritos a continuación.

Para el caso del bioplaguicida de origen vegetal, los resultados señalan que la capacidad de planta siempre se encuentra por debajo de la demanda nacional e internacional. Sin embargo, la decisión de suplir dichas demandas varía en el tiempo. Se destaca además que la decisión de suplir mercados prioriza al mercado nacional, esto es debido a la influencia de los costos totales en la decisión final;

destacando que los costos totales asociados a suplir la demanda de dicho producto son menores a nivel nacional que a nivel internacional (China, Tailandia e Indonesia).

A nivel internacional el modelo muestra que el mercado de China es el más atractivo; es por ello que, si el productor se decide a aumentar su cuota de mercado, el modelo propone enviar más unidades de producto vegetal a China. Respecto a Tailandia e Indonesia, se observó que cuando la demanda es pesimista, el modelo intenta suplir las demandas de estos; sin embargo, cuando el horizonte de tiempo pasa los seis años, el modelo no envía más unidades a este mercado y prefiere mantenerse en el mercado de China y satisfacer una pequeña proporción del mercado de Indonesia.

Respecto al bioplaguicida compuesto de suspensión de bacterias endófitas, se obtienen resultados similares a los del bioplaguicida de origen vegetal, aunque en una escala menor. El modelo prefiere satisfacer la demanda del mercado nacional y parte del mercado internacional. A nivel internacional, el mercado de China se mantiene como el más interesante, aunque en los escenarios de demanda pesimistas, el modelo prefiere suplir al mercado de Tailandia hasta alcanzar un horizonte de tiempo de cinco años. A partir de este momento, las unidades vendidas en Tailandia son iguales a las vendidas en China. Es importante destacar que en todos los escenarios del producto bacteriano las utilidades son positivas (al igual que para el bioplaguicida de origen vegetal).

A su vez, se hizo un análisis de los dos mejores y peores escenarios para cada producto. En el caso de los dos mejores escenarios para cada producto se observó que las utilidades para una década del producto de origen vegetal son, en promedio, 30 % mayores a las del bioplaguicida basado en suspensión de bacterias endófitas. Bajo escenarios en que la restricción de mercado es capacidad, la mayor utilidad se recibe del producto con mayor capacidad instalada. En el caso de los escenarios pesimistas se percibió que las utilidades del bioplaguicida de origen bacteriano son un 5 % mayores a las del bioplaguicida de origen vegetal para el mismo periodo de tiempo.

Por lo anterior se recomienda enfocarse en la fabricación de un solo producto, en este caso el de origen vegetal, debido a que se logra obtener una mayor captación de utilidad respecto al producto de origen bacteriano en los escenarios mencionados. Adicionalmente, es recomendable tomar una estrategia de capacidad creciente, porque permite el aumento de la cuota de mercado y se reciben más utilidades en el tiempo respecto a la estrategia de mantener la capacidad constante.

Del análisis de los productos y escenarios considerados se desprende, más que una determinación, una heurística que permite tomar las mejores decisiones considerando la concreción de los escenarios representados en el tiempo. Por lo tanto, puede tomarse como una buena decisión enfocarse en la fabricación del bioplaguicida basado en bacterias endófitas, dada su menor inversión y consecuente menor exposición al riesgo. Del mismo modo, en algunos escenarios puede captarse un mejor nivel de utilidades que en el de origen vegetal. Así, la toma de decisiones correspondiente debe ser vista bajo un análisis prospectivo de los escenarios más probables y las apuestas, más reacias o propensas al riesgo, de los inversores del proyecto.

De este trabajo se desprenden diversas contribuciones. Como contribuciones prácticas, en primera medida, provee una herramienta prospectiva que conduce la toma de decisiones y minimiza riesgos de inversión para nuevos emprendimientos en bioplaguicidas dirigidos a nuevos merca-

dos. Adicionalmente, viabiliza aportes de alto valor agregado de manufactura al PIB colombiano, contribuyendo al desarrollo sostenible de los cultivos orgánicos mediante el establecimiento de propuestas de ganancias máximas para la producción y la distribución internacional de productos bioplaguicidas, y se aporta sanitariamente a la disminución de intoxicaciones por consumo de remanentes de plaguicidas químicos en cultivos vegetales.

Como contribución científica de este artículo se destaca el enriquecimiento de la literatura desarrollada sobre los modelos de cadena de suministro respecto a los bioplaguicidas de uso agrícola. Más específicamente, la aplicación de técnicas de optimización lineal para maximización de utilidades en emprendimientos de productos bioplaguicidas para decisiones de inversión y sostenibilidad en el largo plazo constituye una contribución incremental en el sentido en que añade nueva literatura relevante. Se puede hacer mención del uso innovador y complementario de modelos de optimización junto con pronósticos y regresiones, para de esta forma extender el alcance y la precisión de los resultados en cuanto a proyecciones de demanda y precios de mercado.

Se espera que futuras investigaciones continúen impulsando el desarrollo de cadenas de suministro de nuevos bioplaguicidas. Así mismo, se proponen como investigaciones futuras nuevos diseños que contengan modelos integrales, en los que se puedan analizar más detalladamente funciones financieras en las que se incluyan costos de envío, teniendo en cuenta diferentes tipos de incoterms, transporte multimodal —incluyendo el análisis de huella de carbono—, pronósticos sobre la demanda con diferentes tipos de técnicas econométricas, y modelos multiobjetivo que permitan evaluar, además de la utilidad del producto, el precio y las fluctuaciones del mismo dependiendo del tipo de mercado, la localización de la plantas de producción, así como el número adecuado de estas dentro del país. Para finalizar, es importante destacar que las futuras líneas de investigación mencionadas están enfocadas en modelos que incluyan tanto factores tecnológicos como ambientales, para así lograr que los nuevos productos tengan mayor visibilidad y aceptación en los diferentes mercados del mundo.

References

- [1] L. Gañán, “Manejo integrado del añublo bacterial de la panícula del arroz (*Oryza sativa* L.) causado por *Burkholderia glumae* (Kurita & Tabei): una revisión”, *Agronomía*, vol. 19, no. 2, pp. 79-90, 2011. [http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia19\(2\)_8.pdf](http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia19(2)_8.pdf) ↑124
- [2] P. Doncel y A. Pérez-Cordero, “*Burkholderia cepacia* aisladas de variedades de ñame con actividad antimicrobiana contra *Colletotrichum gloeosporioides*”, *Rev. Colombiana Cienc. Anim.*, vol. 9, no. S1, pp. 31-38, 2017. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.518> ↑124, 125
- [3] N. Flórez y D. Uribe, “Determinación de la infección de *Burkholderia glumae* en semillas de variedades comerciales colombianas de arroz”, *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, vol. 64, no. 2, pp. 6093-6104, 2011. doi: 10.15446/rfnam ↑124
- [4] M. Handiyanti, S. Subandiyah, and T. Joko, “Deteksi Molekuler *Burkholderia glumae*, Penyebab Penyakit Hawar Malai Padi”, *J. Perlindungan Tanam. Indones.*, vol. 22, no. 1, pp. 98-107, 2018. <https://doi.org/10.22146/jpti.30259> ↑124
- [5] C. Zhou-qi, Z. Bo, X. Guan-lin, L. Bin, and H. Shi-wen, “Research Status and Prospect of *Burkholderia glumae*, the Pathogen Causing Bacterial Panicle Blight”, *Rise Science*, vol. 23, no. 3, pp. 111-118, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.01.007> ↑124
- [6] A. Quesada y F. García, “*Burkholderia glumae* en el cultivo de arroz en Costa Agron. Mesoam., vol. 25, no. 2, pp. 371-381, 2014. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v25i2.15452> ↑124, 125

- [7] A. Cuevas, “El clima y el cultivo de arroz en Norte de Santander”, *Rev. Arroz*, vol. 60, no. 497, pp. 4-17, 2012. ↑
124
- [8] M. Peláez y S. Vivas, “Resistencia inducida a la enfermedad del añublo de la panícula del arroz inoculando bacterias endofíticas”, *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, vol. 8, no. 2, pp. 51-59, 2017. <https://doi.org/10.22490/21456453.2030> ↑125, 128
- [9] M. B. Isman, “Botanical Insecticides, Deterrents, and Repellents in Modern Agriculture and an Increasingly Regulated World”, *Annu. Rev. Entomol.*, vol. 51, pp. 45- 66, 2006. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146> ↑125
- [10] J. Rojas, A. Pérez, J. Martínez y J. Miele, “Actividad antibacteriana de extracto de hojas de *Melia azedarach* L.”, *Rev. Colomb. Biotecnol.*, vol. 14, no. 1, pp. 224-232, 2012. ↑125
- [11] Z. Barraza, A. Bravo y A. Pérez, “*Pseudomonas aeruginosa* productora de metabolito con actividad antimicrobiana contra *Burkholderia glumae*” *Rev. Colombiana Cienc. Anim.*, vol. 9, no. S1, pp. 114-121, 2017. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.529> ↑125
- [12] U. Tomar, and N. Kaushik, “Neem (*Azadirachta indica* A. Jussieu) Biodiversity in India for Bioresource-azadirachtin: An Important Biopesticide”, *Asian J. Exp. Sci.*, vol. 25, no. 1, pp. 15-21, 2011. ↑125
- [13] J. Mula, D. Peidro, M. Dfaz-Madronero y J. E. Hernandez, “Modelos para la planificacion centralizada de la produccion y el transporte en la cadena de suministro: una revision” *Innovar*, vol. 20, no. 37, pp. 179-194, 2010. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/29244> ↑126, 127
- [14] J. Nicholson, P. LaPlaca, A. Al-Abdin, R. Breese, and Z. Khan, “What Do Introduction Sections Tell Us about the Intent of Scholarly Work: A Contribution on Contributions”, *Industrial Marketing Management*, vol 73, pp. 206-219, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2018.02.014> ↑126
- [15] H.-C. Oh, and I. A. Karimi, “Global Multiproduct Production-Distribution Planning with Duty Drawbacks”, *AIChE J.*, vol. 52, no. 2, pp. 595-610, 2006. <https://doi.org/10.1002/aic.10669> ↑127
- [16] H. Jung, B. Jeong, and C.-G. Lee, “An Order Quantity Negotiation Model for Distributor-Driven Supply Chains” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 111, no. 1, pp. 147-158, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.12.054> ↑127
- [17] L. Gómez, O. Cardozo y J. Echeverri, “Nuevos análisis lo confirman. Control químico poco efectivo contra la bacteria”, Fedearroz, 2010. http://www.fedearroz.com.co/noticias-docs/control_quimico.pdf ↑128
- [18] DANE, “Componentes Insumos - Históricos”, *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*, 2019. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/componente-insumos-1/componente-insumos-historicos> ↑128
- [19] Cotrisa, “Mercado Internacional - Arroz”, *Comercializadora de Trigo S.A.*, 2019. <https://www.cotrisa.cl/mercado/arroz/internacional/> ↑129
- [20] FiBL, “FiBL - Statistics”, *Research Institute of Organic Agriculture*, 2018. ↑129

Adriana Moros Daza

Ingeniera Industrial de la Universidad del Norte con Maestría y Doctorado en Ingeniería Industrial en dicha universidad. Además, estudió un doctorado en Administración de Empresas en la Universität Hamburg. Actualmente es docente de tiempo completo del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad del Norte.
amoros@uninorte.edu.co

Henry Mendoza Crespo

Ingeniero Industrial y Economista de la Universidad del Norte, con Maestría en Economía en dicha institución. Actualmente es docente catedrático en la Escuela Internacional de Administración y Marketing en la Universidad Sergio Arboleda sede Barranquilla.
henry.mendoza@correo.usa.edu.co

René Amaya Mier

Doctor en Ingeniería Industrial de la Universidad Internacional de Florida (FIU). Es profesor de tiempo completo del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad del Norte, en Barranquilla, Colombia. Es miembro activo del IIE, INFORMS, IEOMS y del Centro de Innovación Logística Latinoamericana (CLI) como parte de la Red MIT Global SCALE, así como socio del Centro de Excelencia Portuario, Transporte y Logística de la Universidad del Norte. ramaya@uninorte.edu.co

Mauricio Ortiz Velásquez

Administrador de Empresas, Master en Marketing Internacional, Master en Administración de Empresas (M.B.A.). Se desempeña como profesor investigador del Departamento de Mercadeo y Negocios Internacionales de la Escuela de Negocios de la Universidad del Norte. Presidente de la Asociación Red Colombiana de Profesiones Internacionales (R.C.P.I.) mortiz@uninorte.edu.co